

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ

Для сплавов на основе железа, особенно промышленных, считаются твердо установленными фактами:

- 1) неоднозначность структурного состояния и уровня структурно - чувствительных свойств для расплава одного химического состава;
- 2) наличие существенной взаимосвязи между уровнем структурно - чувствительного свойства расплава и эксплуатационными свойствами твердого металла после кристаллизации.

При этом, чем выше уровень значений кинематической вязкости, тем выше уровень потребительских свойств, в частности пластичность [1]. Главным способом перевода расплава в структурное состояние с максимально возможным уровнем кинематической вязкости является существенный перегрев (до 300°C) над температурой ликвидус [2, 3]. Это далеко не всегда осуществимо в условиях реальных сталеплавильных процессов. Баум Б.А. в статье [4] отмечает, что если исключить причину, связанную с колебаниями химического состава, в том числе по газам и неметаллическим включениям, то четко проявляется другая причина нестабильности свойств жидкого и, соответственно, твердого сплава на основе железа – влияние на свойства твердого металла предистории его получения: характера шихтовых материалов и условий их сплавления. Отметим принципиальную значимость режима сплавления шихты. Это позволяет предположить возможность использования этого фактора как управляющего при формировании структуры расплава и влияющего на степень его неравновесности и уровень свойств. Для минимизации влияния химического состава нами было исследовано влияние режима плавления шихты на структурное состояние прецизионных железоуглеродистых сплавов.

В качестве индикатора структурного состояния расплава использовали кинематическую вязкость как структурно - чувствительное свойство. Эксперименты проводили в вакуумном высокотемпературном вискозиметре в атмосфере очищенного гелия с использованием тиглей из оксида циркония, измеряя кинематическую вязкость расплава методом крутильных колебаний тигля с металлом. Железоуглеродистые расплавы первоначально получали из «свежей» шихты путем сплавления чистого железа и железоуглеродистой лигатуры, содержащей 5,5 мас.% углерода.

В результате исследований, проведенных ранее, установлено, что даже для расплава чистого железа:

- а) возможно 4 относительно устойчивых структурных состояния:
 - состояние А с относительно небольшим уровнем значений кинематической вязкости (около $6\text{--}6,5 \text{ м}^2/\text{с}$ при 1600°C);
 - состояние В и С со средними уровнями значений кинематической вязкости (около $7 \text{ м}^2/\text{с}$ и $7,6 - 8 \text{ м}^2/\text{с}$ при 1600°C соответственно);

- состояние D с относительно большим уровнем значений кинематической вязкости (около $9 \text{ м}^2/\text{с}$ при 1600°C);

б) режим плавления оказывает существенное влияние на реализуемый уровень структурно - чувствительных свойств.

С учетом отмеченной выше существенной значимости было исследовано влияние режима плавления шихты на уровень кинематической вязкости железуголеродистого расплава. Варианты реализованных режимов (нагрев во всех случаях до начальной температуры осуществлялся со скоростью порядка $100^\circ\text{C}/\text{мин}$):

режим № 1 - плавление в ходе изотермической выдержки при температуре 1600°C ;

режим № 2 - плавление в ходе изотермической выдержки при температуре 1555°C , после стабилизации значений кинематической вязкости нагрев до 1600°C за 2-3 минуты;

режим № 3 - ступенчатое изменение температуры с изотермической выдержкой при каждой температуре в течение 10 минут, начиная с 1500°C . Шаг при нагреве до температуры начала плавления и в ходе плавления - $3 - 4^\circ\text{C}$ (т.е. медленное, но непрерывное изменение температуры в ходе плавления). Шаг при изменении температуры выше температуры конца плавления - $20-25^\circ\text{C}$;

режим № 4 - ступенчатый нагрев с шагом $3 - 4^\circ\text{C}$ и изотермической выдержкой при каждой температуре 10 минут от 1500°C до температуры начала плавления. После изотермической выдержки при последней температуре до стабилизации значений кинематической вязкости нагрев до 1600°C .

Установлено:

1. Режим плавления шихты оказывает существенное влияние на структурное состояние железуголеродистого расплава (рис.1).

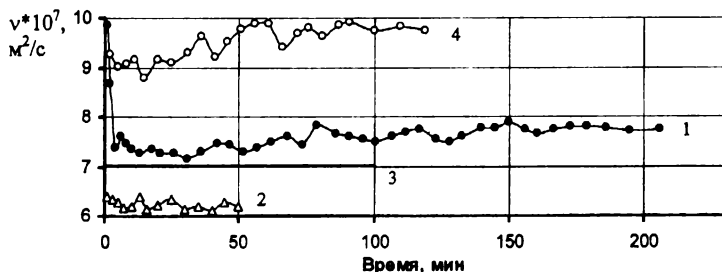


Рис.1. Изменение кинематической вязкости расплава «Fe – 0,1 мас.% С» при 1600°C в случае различных режимов плавления шихты. Номер соответствует режиму плавления (см. в тексте).

2. Реализуются структурные состояния, близкие к отмеченным выше структурным состояниям расплава чистого железа А, В, С, D.

3. Соотношение между уровнями кинематической вязкости расплава чистого железа и его сплава с 0,1 мас.% углерода также существенно зависит от режима плавления. При этом уровень вязкости может быть как выше, так и ниже уров-

ня вязкости расплава чистого железа, наряду с возможным полным совпадением (очевидно, это существенно влияет на характер концентрационных изотерм) (см. рис.2).

4. Влияние режима плавления шихты минимизируется (если не исключается полностью) при увеличении концентрации углерода до 1,0 мас. %.

5. Формирование низкоуглеродистого расплава в ходе изотермической выдержки при 1600 °С дает нестабильный уровень свойств.

Это позволяет сделать заключение, что, управляя процессом формирования расплава, можно получить максимальный уровень вязкости после расплавления, что предполагает повышенный уровень эксплуатационных свойств твердого металла.

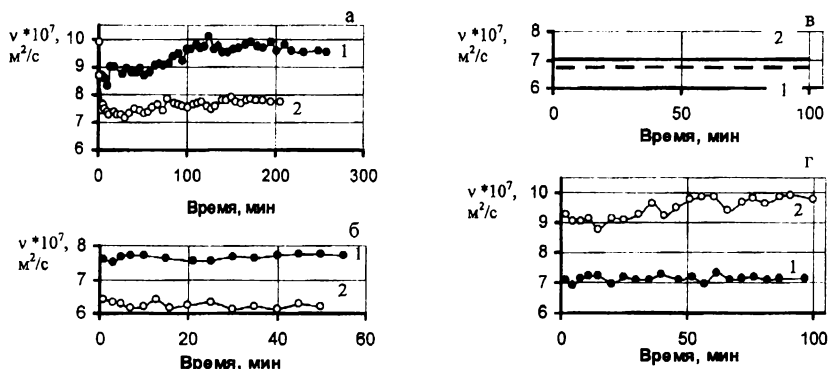


Рис.2. Соотношение кинематической вязкости при 1600 °С расплавов чистого железа и его сплава с 0,1 мас. % углерода в зависимости от режима плавления:

- 1 — чистое железо, 2 — расплав «Fe — 0,1 мас. % С»
- а — режим плавления № 1; б - режим плавления № 2;
- в - режим плавления № 3; г - режим плавления № 4

Как уже было отмечено, значительный перегрев выше температуры ликвидус является одним из наиболее эффективных способов изменения структурных состояний расплавов. Поэтому было исследовано влияние и этого фактора на изменение структурного состояния железоуглеродистых расплавов.

Установлено, что среди тенденций изменения структурного состояния железоуглеродистого расплава в условиях перегрева можно выделить:

- а) переход в одно из устойчивых структурных состояний расплава чистого железа с реализацией как прямого, так и обратного гистерезиса (рис.3). Соответственно, реализация после плавления структурного состояния, совпадающего с одним из отмеченных выше, сводит вероятность гистерезиса к минимуму;
- б) переход в структурное состояние, которое при аналогичном режиме плавления характерно для расплава чистого железа (см. рис.4). Так как в значительном числе случаев вязкость железоуглеродистых расплавов лежит ниже, то и гистерезис при изменении структурного состояния фиксируется «прямой», т.е. имеет

место увеличение вязкости.

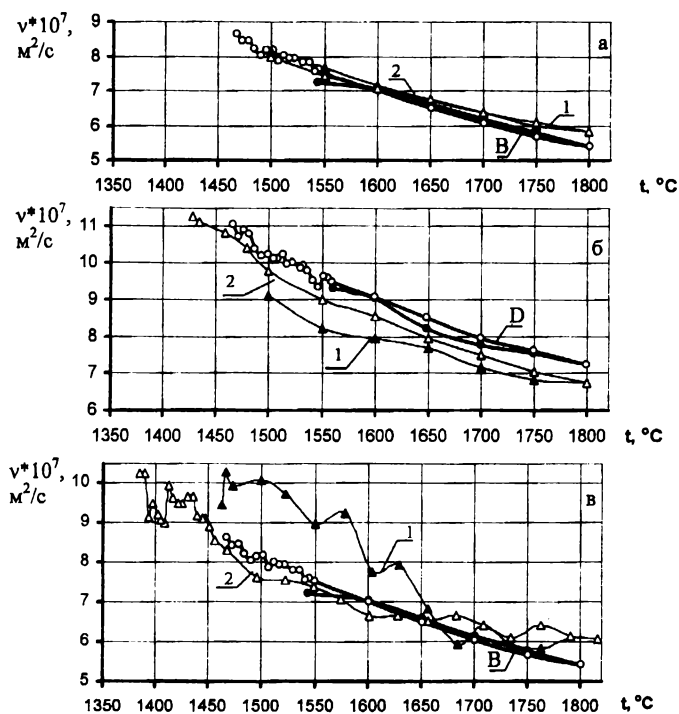


Рис.3. Изменение структурных состояний расплава «Fe – 1,0 мас.% С» в условиях перегрева:

а, б, в – соответствуют различным образцам расплава.

В, D – уровни кинематической вязкости, отвечающие устойчивым структурным состояниям расплава чистого железа.

Расплав «Fe – 1,0 мас.% С»: 1 – нагрев, 2 – охлаждение.

Другой аспект, который является важным, - это сохранение структурного состояния расплава и, соответственно, уровня структурно - чувствительных свойств после кристаллизации и повторного плавления. Это важно:

- как с точки зрения сопоставления свойств расплава одного состава, но полученного из различной шихты: либо путем сплавления чистого железа и железо-углеродистой лигатуры, либо путем плавления твердого раствора требуемого состава;

- так и с точки зрения возможного использования кристаллизации и плавления как фактора воздействующего на структурное состояние расплава и, соответственно, на свойства твердого металла после кристаллизации.

В большинстве случаев при повторном плавлении был использован тот же режим, что и при формировании расплава из «свежей» шихты.

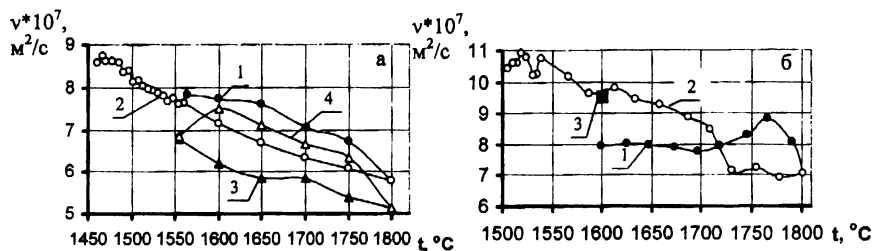


Рис.4. Изменение структурных состояний железоуглеродистых расплавов в условиях перегрева

а – для одного режима нагрева и плавления (режим № 2):

- исходное чистое железо: 1 – нагрев, 2 – охлаждение;

- расплав «Fe – 0,1 мас.% С»: 3 – нагрев, 4 – охлаждение;

б – для одного режима нагрева и плавления (режим № 1):

- расплав «Fe – 0,05 мас.% С»: 1 – нагрев, 2 – охлаждение (нагрев и охлаждение после изотермической выдержки при 1600 $^\circ\text{C}$);

- исходное чистое железо: 3 – уровень кинематической вязкости при 1600 $^\circ\text{C}$ в случае плавления в ходе изотермической выдержки при этой температуре.

Анализ экспериментальных данных позволяет отметить, что структурное состояние расплава, полученное путем плавления твердого раствора, существенно отличается, в большинстве случаев, от полученного при его формировании из «свежей» шихты. Для низкоуглеродистого расплава (0,1 мас.%) после первого повторного плавления реализуется максимально возможный для данного металла уровень вязкости. Поэтому в этом случае реализация наибольшего уровня вязкости и, соответственно, повышенного уровня механических свойств наиболее вероятна после первого переплава. При последующих перегревах, повторных плавлениях и их сочетаниях имеет место либо сохранение, либо уменьшение уровня вязкости, либо наблюдается колебательный характер ее изменения (см.рис.5);



Рис. 5. Изменение кинематической вязкости железоуглеродистого расплава с 0,1 мас.% углерода при 1600 $^\circ\text{C}$ в случае последовательных повторных плавлений для режима плавления №3

«Н» – в режиме нагрева, «О» – в режиме охлаждения после перегрева до 1650 $^\circ\text{C}$

- сохранению уровня вязкости способствует сочетание повторных плавлений и предшествующих перегревов до 1800 $^\circ\text{C}$,

- снижению уровня вязкости при последующих повторных плавлениях способствует относительно небольшая скорость возрастания температуры в ходе нагрева и плавления,
- колебательный характер наиболее отчетливо проявляется при быстром нагреве до 1600 °С и плавлении в ходе изотермической выдержки при этой температуре.

Существенное снижение и стабилизация вязкости на минимальном уровне ведет, очевидно, к стабилизации наихудших свойств твердого металла. Нестабильная реализация уровня вязкости может привести к нестабильному уровню механических свойств твердого металла. Для высокоуглеродистых расплавов (1,0 мас.%) сочетание повторных плавлений и перегревов способствует возрастанию кинематической вязкости, что позволяет предположить положительное влияние этих воздействий на свойства твердого металла.

Выводы:

1. Прецизионные жидкие сплавы железа с углеродом имеют не одно структурное состояние. Наиболее устойчивые структурные состояния этих расплавов совпадают с устойчивыми структурными состояниями расплава чистого железа.
2. Режим плавления и повторные плавления являются управляющими факторами, оказывающими (так же, как и значительный перегрев) существенное влияние на структурное состояние железоуглеродистого расплава.
3. Тенденция структурных изменений железоуглеродистых расплавов в условиях перегрева – переход в одно из устойчивых структурных состояний расплава чистого железа, среди которых приоритетным является состояние, характерное для образца чистого железа с аналогичной предысторией.
4. Тенденция изменения структурных состояний железоуглеродистых расплавов при первом повторном плавлении – переход в состояние с большим уровнем значений кинематической вязкости. Характер изменений структурного состояния при последующих повторных плавлениях существенно зависит от концентрации углерода, режима плавления и величины перегрева перед кристаллизацией.

Библиографический список

1. Баум Б.А. Металлические жидкости – проблемы и гипотезы. М.: Наука, 1979. 120 с.
2. Жидкая сталь / Б.А.Баум, Г.А. Хасин, Г.В.Тягунов и др. М.: Metallurgia, 1984. 208 с.
3. Равновесные и неравновесные состояния металлических расплавов/Б.А. Баум, Г.В.Тягунов, Е.Е.Барышев, В.С.Цепелев // Фундаментальные исследования физикохимии металлических расплавов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. С. 214 – 228.
4. Баум Б.А. О взаимосвязи жидкого и твердого металлических состояний // Расплавы. 1988. Т.2, вып.2. С. 18 – 32.